دکتر امین علیزاده
دکتر حسین انصاری
سارا ارشادی(نویسنده اصلی)
شادی آشگر طوسی

پایش و پیش‌بینی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان

چکیده

خشکسالی کشاورزی در ایران به عنوان یک فاجعه‌ی طبیعی برای تمام مردم، به ویژه کشاورزان، شناخته شده است. هرچند از وقوع خشکسالی نمی‌توان جلوگیری کرد، اما اگر ماهیّت و خصوصیّات آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد، می‌توان نسبت به پیش‌بینی آن امیدوار بود و با آمادگی از اثرات زیان‌آور آن کاست. در این نوشتار استان سیستان و بلوچستان با توجه به داشتن شرایط خاص اقلیمی، از نظر پدیده‌ی خشکسالی، مورد بررسی قرارگرفته است. دراین پژوهش، پایش و پیش‌بینی خشکسالی استان سیستان و بلوچستان، با استفاده ازالگویی که بر اساس شاخص SPI و درصد از نرمال و زنجیره‌ی مارکف تهیه شده ،انجام گرفته است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که منطقه‌ی مورد مطالعه نسبت به خشکسالی‌های میان مدّت و کوتاه مدّت حسّاس است و بیشتر خشکسالی‌هایی که در این منطقه اتفاق افتاده است، خشکسالی ملایم و متوسط است و احتمال وقوع پدیده‌ی خشکسالی در مناطق مرکزی استان بیشتر است.

کلّیدواژه‌ها: خشکسالی، SPI، شاخص درصد از نرمال، زنجیره مارکف،سیستان و بلوچستان

۱. درآمد

یکی از مظاهر طبیعی متأثّر از وضعیّت آب و هوا، خشکسالی است. به گونه‌ای که کاهش یا افزایش تأثیریک یا چند عامل از عوامل اقلیمی موجب پیدایش این پدیده می‌شود. خشکسالی کشاورزی در ایران به عنوان یک فاجعه‌ی طبیعی برای تمام مردم، به ویژه کشاورزان، شناخته شده است (ارشادی،۸۶).

تاریخ دریافت: ۸۶/۴/۴ تاریخ تصویب:۸۷/۳/۲۵

کارهای اولیه در خصوص پایش عمدتاً با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد(Whipple,1966) و سپس توسط سایر محققین برای ایالاتی از آمریکا، که بیشتر در معرض خشکسالی بودند، مانند ایالات غرب و جنوب غربی دنبال شد(Olapido,1986;Sen,1980). هیز و همکاران (Hayes et al.,1998) خشکسالی گسترده سال ۱۹۹۶ در سطح آمریکا را با استفاده از شاخص SPI پایش نمودند. نقشه‌ها گونه‌ای تهیه شد که وضعیّت عمومی هر کدام از ایالات به طور یکجا تعیین و نهایتاً نقشه‌ی کل کشور تهیه شد. رضیئی و همکاران(۱۳۸۲) نیز پدیده‌ی خشکسالی را در استان‌های اصفهان و یزد با استفاده از شاخص SPI و برای دوره‌های زمانی۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ مورد مطالعه قرار دادند.

پیش‌بینی خشکسالی پر از مشکلات و مسائل خاص است. به طور کلّی، روش‌هایی را که توسط آنها می‌توان پیش‌بینی‌هایی برای رخدادهای آتی خشکسالی نمود، روش‌های آماری، آماری-فیزیکی، سنجش از دور و سینوپتیکی هستند. آنچه در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌است، کاربرد روش آماری زنجیره مارکف است

گابریل و نیومن(۱۹۶۲)[1] اوّلین کسانی بودند که از یک زنجیره مارکف مرتبه‌ی اوّل برای تعیین احتمال وقوع بارندگی روزانه در تلاویو[2] استفاده کردند. اوچلا و همکاران(۲۰۰۳)[3]، از الگوی زنجیره مارکف مرتبه‌ی اوّل برای شبیه سازی و پیش‌بینی دوره های خشک و تر روزانه در کنیا استفاده‌کردند. آن‌ها با استفاده از الگوی زنجیره مارکف مرتبه‌ی اوّل و توزیع احتمالاتی پوآسون، طول دوره‌های خشکسالی و تر سالی بحرانی را در این منطقه تعیین کردند.

عدل (۱۳۶۹)، نیز از الگو زنجیره‌ی مارکف مرتبه‌ی اوّل، برای تعیین احتمالات تأمین آب از دریاچه‌ی سد امیرکبیر استفاده کرد. وی نتیجه گرفت که احتمال کمبود آب دریاچه در درازمدّت به کمک آمار ۲۱ ساله، ۲٪ است.

در استان سیستان و بلوچستان، به عنوان منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک ایران، بروز خشکسالی دور از انتظار نیست. این موضوع نشان‌دهنده‌ی آن است که برای انجام تحقیقات در زمینه‌ی خشکسالی باید تأکید

1. Gabriel and Neumann
2. Tel-Aviv
3. Ochola and Kerkides

بیشتری بشود تا نتایج به دست آمده آنها بتواند به عنوان ابزاری در برنامه ریزی‌های توسعه‌ی کشاورزی در این استان مورد استفاده قرار گیرد. این که صبر شود تا خشکسالی به پایان برسد و سپس در مورد عواقب آن برنامه‌ریزی کرد، کاری غیر معقول و غیر علمی است و باید مدیریت ریسک را جایگزین مدیریت بحران نمود. در این مطالعه با استفاده از تحلیل الگویی که جهت پایش و پیش‌بینی خشکسالی تهیه شده است، وضعیّت خشکسالی در گذشته و آینده در استان سیستان و بلوچستان را مورد بررسی قرار می‌دهیم تا مدیریت‌ها و برنامه ریزی‌های لازم جهت کاهش اثرات خشکسالی انجام شود.

۲. مواد و روش‌ها

استان سیستان و بلوچستان با وسعتی حدود ۱۷۸۴۳۱کیلومتر مربع، ۴/۱۱ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل داده و از پهناورترین استان‌های کشور است و با قرار گرفتن در بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ، از نظر جمعیتی از کم تراکم‌ترین استان‌های کشور است. این استان از شمال به استان خراسان جنوبی و کشور افغانستان، از شرق به کشورهای پاکستان و افغانستان، از جنوب به دریای عمان و از مغرب به استان‌های کرمان و هرمزگان محدود می‌شود. بر اساس تقسیمات کشوری در سال ۱۳۸۱، استان سیستان و بلوچستان دارای ۳۶ بخش، ۳۱ شهر و ۹۸ دهستان می‌باشد(سالنامه آماری کشور، ۱۳۸۱). استان سیستان‌وبلوچستان به لحاظ نزولات جوّی ناچیز و داشتن آب و هوای صحرایی از جمله استان های بسیار خشک کشور است.



شکل۱. پراکندگی مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های اصلی این تحقیق را اطلاعات بارندگی ۸ ایستگاه سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان در طول دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۰۳-۱۹۷۳) تشکیل می‌دهد که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده‌است. مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها در جدول۱ ارائه شده است. نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه و موقعیّت ایستگاه‌ها در شکل۱ آمده است.

در نرم‌افزار تهیه شده با عنوان "**D**ROUGHT **M**ONITORING And **F**ORECASTING" که به اختصار DMF نامیده شده‌است، برای درجه‌بندی خشکسالی از میان روش‌های موجود از دو شاخص SPI و درصد از نرمال که با توجه به داده‌های موجود در استان سیستان و بلوچستان کاربردی‌تر هستند، استفاده شده‌است و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از زنجیره‌ی مارکف صورت گرفته‌است. در زیر به تشریح روش‌های مورد استفاده می‌پردازیم:

جدول۱. ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه و مشخصات جغرافیایی آنها

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)
		دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	
۱	ایرانشهر	۱۲	۲۷	۴۲	۶۰	۵۹۱/۱
۲	چابهار	۱۷	۲۵	۳۷	۶۰	۸
۳	خاش	۱۳	۲۸	۱۲	۶۱	۱۳۹۴
۴	زابل	۰۲	۳۱	۲۹	۶۱	۴۸۹/۲
۵	زاهدان	۲۸	۲۹	۵۳	۶۰	۱۳۷۰
۶	زهک	۵۴	۳۰	۴۱	۶۱	۴۹۵
۷	سراوان	۲۰	۲۷	۲۰	۶۲	۱۱۹۵
۸	کنارک چابهار	۲۶	۲۵	۲۲	۶۰	۱۲

الف) شاخص *SPI*

برای تعیین شاخص استاندارد شده بارش از مقادیر بارندگی ماهانه‌ی هـر ایـستگاه در طـول دوره آمـاری طولانی مدّت (حداقل ۳۰ سال) استفاده شده‌است. ابتدا مقادیر بارندگی ماهانه‌ی هر ایستگاه برای هـر یـک از مقیاس‌های زمانی مورد نظر (...، ۲۴، ۱۲، ۶، ۹، ۳، ۱) محاسبه وسپس مقـادیر بارنـدگی‌هـای تجمّعـی در هـر ماه به توزیع گاما برازش داده شده‌است. در نهایت ایـن توزیـع بـه یـک توزیـع نرمـال تبـدیل مـی‌شـود. تـابع توزیع گاما با استفاده از تابع چگالی احتمالاتی زیر محاسبه می‌شود (Sonmez,2005):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \qquad (۱)$$

در این رابطه:

g(x)- تابع چگالی احتمالاتی

x- مقادیر بارندگی تجمّعی در هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال و بـرای هـر ایـستگاه هواشناسـی مـورد نظـر (بـر حسب صدم اینچ) می‌باشد.

$\Gamma(\alpha)$- تابع گاما

α و β نیز پارامتر شکل و پارامتر مقیاس هستند که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{4A}\left(1+\sqrt{1+\frac{4A}{3}}\right) \qquad (۲)$$

$$\beta = \frac{\overline{x}}{\alpha} \qquad (۳)$$

که در آن:

$$A = \ln(\overline{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \qquad (۴)$$

در روابط بالا :

$\overline{x}$ - میانگین بارندگی‌های تجمّعی محاسبه شده در تمام ماههای مشابه در هر ایستگاه و در هر مقیاس زمانی

x- بارندگی تجمّعی در هر مقیاس زمانی و در هر ماه

n- تعداد بارندگی‌های مخالف صفر ماههای مشابه در سری زمانی بارندگی‌های تجمّعی در هر مقیاس زمانی

توزیع احتمال تجمّعی داده‌ها با انتگرال گیری روی توزیع گاما به دست می‌آید.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}\int_0^x x^{\alpha-1}e^{-x/\beta}dx \qquad (۵)$$

G(x)- احتمال تجمّعی توزیع گامای ناقص

با توجه به این که توزیع احتمال تجمّعی گاما برای $x = 0$ تعریف نشده‌است و مسلماً در سری داده‌های بارندگی هر ایستگاه، مقادیر بارندگی صفر نیز وجود دارد، لذا احتمال تجمّعی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H(x) = q+(1-q)G(x) \qquad (۶)$$

q- احتمال وقوع بارندگی صفر در هر مقیاس زمانی، برای هر ماه و هر ایستگاه

H(x)- توزیع احتمال تجمّعی گاما

پس از محاسبه‌ی احتمال تجمّعی گاما در هر مقیاس زمانی و برای هر ماه از سال، این احتمال به یک متغیّر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌شود که این متغیّر تصادفی در حقیقت همان مقدار SPI مورد نظر است (Abramowitz and Stegun ,1965):

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \qquad \text{برای}\ 0 < H(x) \le 0.5 \qquad (۷)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \qquad \text{برای}\ 0.5 < H(x) \le 1 \qquad (۸)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \qquad \text{برای}\ 0 < H(x) \le 0.5 \qquad (۹)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \qquad \text{برای}\ 0.5 < H(x) \le 1 \qquad (۱۰)$$

$c_0 = 2.515517$

c_1=0.802853
c_2= 0.010328
d_1=1.432788
d_2=0.189269
d_3= 0.001308

مقدار SPI مثبت نمایانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط است. زمانی که مقدار SPI محاسبه‌شده منفی باشد، نشانه‌ی شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد، پایان خشکسالی را نوید می‌دهد. شدّت یک دوره‌ی خشکسالی، مجموع مقادیر SPI مثبت برای همه ماهها در همان دوره‌ی خشکسالی است. جهت تعیین درجه‌ی خشکسالی با استفاده از این شاخص از جدول۲ استفاده می شود:

جدول۲. مقادیر SPI و رطوبت و خشکی متناظر آن (Hayes, 2000)

مقادیر SPI	
ترسالی خیلی شدید	۲+≤
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
ترسالی کم	۰ تا ۰/۹۹
خشکسالی کم	۰/۹۹- تا ۰
خشکسالی متوسط	۱/۴۹- تا ۱-
خشکسالی زیاد	۱/۹۹- تا ۱/۵-
خشکسالی خیلی زیاد	۲-≥

ب) شاخص درصد از نرمال

در تقسیم‌بندی شاخص درصد از نرمال (PN) از توصیه‌های مهندسین مشاور کوانتا (۱۳۵۶) استفاده شده است. بر اساس این تقسیم‌بندی انواع شدّت‌های خشکسالی و ترسالی به صورت زیر ارائه گردیده است:

$$PN = (P_i / P)*100 \qquad (۱۱)$$

جدول۳. درجه بندی شدّت خشکسالی بر اساس روش درصد از نرمال(کوانتا، ۱۳۵۶)

مقادیر درصد از نرمال(٪)	
ترسالی شدید	۳۰<
ترسالی خفیف	۱۰/۱ تا ۳۰
نرمال	۱۰- تا ۱۰+
خشکسالی شدید	۱۰/۱- تا ۳۰-
خشکسالی خفیف	< ۳۰-

پ) زنجیره مارکف

زنجیره‌های مارکف در هیدرولوژی و هواشناسی جهت الگوسازی فرآیندهایی چون: بارندگی، جریان‌های رودخانه، رطوبت خاک و ذخیره‌ی آب در مخازن کاربرد دارد. اگر فرض شود که $X(t)$ یک فرایند با مقدار گسسته باشد که در زمان صفر شروع شده و در طول زمان ادامه یابد، آن‌گاه مقادیر $X(t)$ را به صورت x_t , $(t=0,1,...)$ می‌توان نشان داد و داریم:

$$P\left[X(t) = x_t \middle| X(0) = x_0, X(1) = x_1, ..., X(t-1) = x_{t-1}\right] = P\left[X(t) = x_t \middle| X(t-1) = x_{t-1}\right] \qquad (۱۲)$$

در رابطه‌ی(۱۲), P احتمال شرطی است و بیان می کند که نتیجه‌ی هر فرآیند در زمان t تنها به شرایط در زمان t-1 بستگی دارد. فرآیندهایی که چنین خاصیتی دارند یک زنجیره‌ی مارکف مرتبه‌ی اوّل یا زنجیره‌ی مارکف ساده نامیده می‌شوند (Thompson,1999).

یک زنجیره‌ی مارکوف ساده با استفاده از ماتریس احتمال انتقالش P(t) تعریف می‌شود. این ماتریس، یک ماتریس مربع با عناصر $p_{ij}(t)$ است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$p_{ij}(t) = P\left[X(t)=j \middle| X(t-1)=i\right] = \frac{P[X(t-1)=i \text{ و } X(t)=j]}{P[X(t-1)=i]} \qquad (۱۳)$$

برای تمام جفت‌های i و j, زنجیره ممکن است از حالت i در زمان t-1 به حالت j= 1,2,..r در زمان t تغییر یابد, لذا با معلوم بودن وضعیّت در زمان t-1 احتمالات انتقال متناظر در زمان t با $p_{i1}, p_{i2}, ..., p_{ir}$ نمایش داده می‌شود، و لذا:

$$\sum_{j=1}^{r} p_{ij}(t) = 1 \qquad i = 1,2,...,r \qquad (۱۴)$$

چنانچه ماتریس احتمال انتقال P(t) وابسته به زمان نباشد، زنجیره‌ی مارکوف را ایستا یا همگن گویند و در این حالت می‌توان از علایم P و p_{ij} به جای P(t) و $p_{ij}(t)$ استفاده نمود (Maidment,1993).

ماتریس احتمال انتقال به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{array}{c} \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ . \\ . \\ r \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 0 & 1 & 2 & \dots\ r \end{array} \\ \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} \cdots p_{0r} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} \cdots p_{1r} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} \cdots p_{2r} \\ . & & \\ . & & \\ p_{r0} & p_{r1} & p_{r2} \cdots p_{rr} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (۱۵)$$

عناصر قطر اصلی ماتریس بیانگر پایداری هر وضعیّت می‌باشد.

چنانچه فرض شود زنجیره در حال حاضر در وضعیّت i قرار دارد و پس از n مرحله‌ی زمانی در حالت j واقع شده است، احتمال گذر از حالت i به حالت j در n مرحله را با $p_{i,j}^{(n)}$ نشان داده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^{r} p_{ik}^{(n-1)} p_{kj} \qquad \begin{matrix} i, j = 1, \dots, r \\ n > 1 \end{matrix} \qquad (۱۶)$$

چنانچه $n=1$ ، آن گاه $p_{i,j}^{(1)} = p_{i,j}$ همان عناصر احتمال انتقال است. در رابطه‌ی (۱۶)، $p_{ij}^{(n)}$ عناصر ماتریس احتمال انتقال n مرحله‌ای ($P^{(n)}$) هستند که می‌تواند با ضرب کردن n بار ماتریس احتمال انتقال P در خودش به دست آید. (Banik, 2000).

۳. روش تحقیق

نرم افزار DMF برای محاسبات فوری[1] پایش و پیش‌بینی خشکسالی تهیه شده‌است. ارائه‌ی این نرم‌افزار به دلیل گستردگی موضوع در مقاله ارائه نشده و علاقمندان برای دریافت آن می‌توانند با نگارندگان مکاتبه نمایند. با استفاده از نرم افزار DMF ، شاخص حسّاسیّت به خشکسالی SPI درمقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای تمام سال‌های آماری موجود محاسبه گردید و مقادیر سال ۲۰۰۳ آن برای مقیاس‌های زمانی مختلف استخراج شد. با توجه به مقادیر SPI محاسبه شده برای سال‌های گذشته، درصد وقوع هریک از انواع خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی سه ماهه و برای هر یک از ایستگاه‌ها با توجه به فراوانی وقوع آنها در سی سال گذشته محاسبه شد (جدول۴). همچنین ماتریس‌های احتمال انتقال برای هشت ایستگاه استان سیستان و بلوچستان بر اساس شاخص SPI (به صورت ماهانه) و شاخص درصد از میانگین (به صورت سالانه) در یک دوره‌ی آماری سی ساله محاسبه شد. با مشخص بودن درجه‌ی خشکسالی یا ترسالی در هر ماه یا سال، می توان احتمال وقوع هر یک از شدّت‌های خشکسالی یا ترسالی در ماه یا سال آتی را تعیین نمود (جداول۵ الی ۸). این عمل با ضرب کردن مکرّر ماتریس، احتمال انتقال به دفعات مختلف در خودش به دست می آید که در نرم‌افزار DMF نیز وجود دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی SPI (برای ماه اوّل هر فصل،اشکال ۲ الی ۴) و پیش‌بینی خشکسالی(به

1. real time

عنوان نمونه ماه ژانویه، اشکال ۵ الی ۸) برای منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS و با استفاده از روش IDW تهیه شده است.

٤. نتیجه‌گیری:

باتوجه به نتایج به دست آمده از وضعیّت خشکسالی در سال‌های گذشته در منطقه‌ی مورد مطالعه چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که، به طور کلی در یک مقیاس زمانی مشخص هر چه شدّت خشکسالی بیشتر می‌شود، فراوانی حتمال وقوع آن نیز کاهش می‌یابد. در مقیاس‌های زمانی بلند مدّت (۱۲،۹ و ...) به دلیل افزایش تعداد دفعات ضرب شدن ماتریس فراوانی درخودش، درصد فراوانی انواع خشکسالی‌ها مقداری ثابت می‌شود، درواقع ماتریس تعادل منطقه به دست می‌آید. به طور کلّی، منطقه‌ی مورد بررسی نسبت به خشکسالی‌های ملایم میان مدّت وکوتاه مدّت حسّاس‌تراست، لذا می‌توان گفت که شاخص SPI دارای یک روند منفی است و خشکسالی‌های اخیر باعث کاهش منابع آبی استان شده‌است. بنابراین شناخت همه جانبه‌ی خصوصیّات و ویژگی‌های خشکسالی ضرورت دارد تا بتوان به موفقیّت برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب کشاورزی امیدوار بود. با توجه به پیش‌بینی که با استفاده از زنجیره‌ی مارکف انجام شده است، مشخص شد که در ماه ژانویه سال ۲۰۰۴، احتمال وقوع خشکسالی کم در استان سیستان و بلوچستان به خصوص در مناطق مرکزی استان وجود دارد . احتمال وقوع خشکسالی در شهرستان‌های سراوان و خاش بیشتر است و مدیریت منابع آب باید با دقّت بیشتری انجام گرفته و از توسعه‌ی منابع مصرف کننده در آن جلوگیری شود.

منابع و مآخذ

۱. ارشادی، س، (۱۳۸۶)، "*مدل دینامیک پایش و پیش‌بینی خشکسالی در ایران و تحلیل آن برای مناطق شرقی کشور*"، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. رضیئی، ط، شکوهی، ع، ثقفیان، ب، دانش آراسته، پ. (۱۳۸۲)،" *پایش پدیده خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص SPI*" ، مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اوّلین کنفرانس ملی تغییر اقلیم.

۳. سالنامه‌ی آماری کشور(۱۳۸۱). مرکز آمار و انفورماتیک.

۴.عدل،ا (۱۳۶۹). "*کاربرد مدل زنجیره مارکف در بررسی احتمالات تأمین آب از دریاچه سد امیرکبیر*"، نشریه‌ی علمی و فنی آب کشور، شماره۹ ،صفحات۷-۱.

5.Abramowitz, M. and I.A. Stegun,(1965). *Handbook of mathematical function*. Dover, p.1046

6.Banik, P., A. Mandal and M.S. Rahman,(2000*). Markov Chain Analysis of Weekly Rainfall Data in Determining Drought-proneness*. Discrete Dynamics in Nature and Society, Vol. 7, pp. 231-239.

7.Gabriel K.R. and I. Neuman, (1962). *Markov chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv*, Q. J. Roy. Met. Soc, 88, 90-95.

8.Hayes, M.J. (2000). *What is drought*? National Drought Mitigation Center, URL: www.drought.unl.edu/whatis/indhces.htm

9.Hayes, M.J., Svoboda M. D., Wihite D. A. and O.V. Vanyarkho, (1998).*Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index*. Bulletin of American Meteorological Society, 80: 429-438

10.Maidment, D.R., (1993). *Handbook of Hydrology, Chapter 19 in: Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series*. Salas. J.D., Engineering Research Center, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, pp: 19.1-19.39

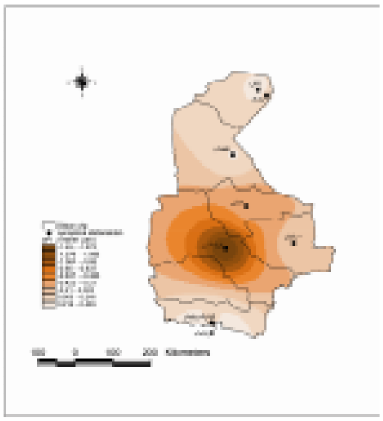
11.Ochola, W.O. and P. Kerkides,(2003). *A markov chain simulation model for predicating critical wet and dry spells Kenya"*, J. Irrigation and Drainage ,Vol. 52, Issue.4, pp. 327-342.

12.Oladipo, E. O. (1986). *Spatial pattern of drought in interior plains of North America*, Journal of Climatology, 6: 495-513.

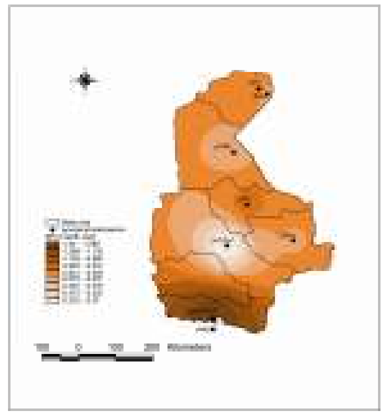
13.Sonmez, F.,(2005), *An Analysis of Spatial and Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey using the Standardized Precipitation Index*, Natural Hazards, Vol.35, No.2, pp:243-264(22).

14.Thompson, S. A. (1999). *Hydrology for water management*. Rotterdam. Netherlands.

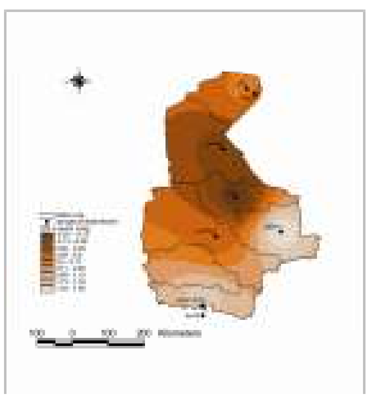
15-Whipple, W. (1966). *Regional drought analysis, ASCE*. Journal of Irrigation and Drainage division, 92: 11-31.



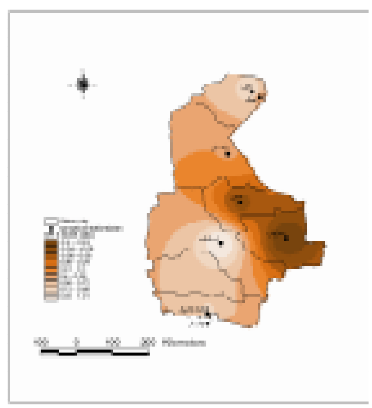
شکل۲- SPI سه ماهه برای ماه ژانویه سال ۲۰۰۳



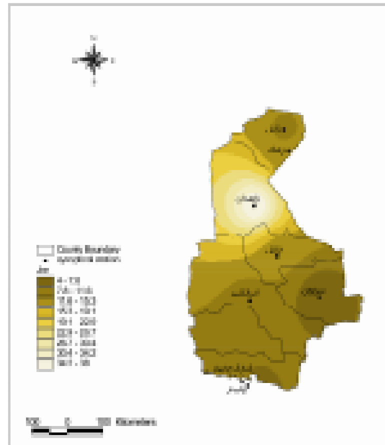
شکل۳- SPI سه ماهه برای ماه آوریل سال ۲۰۰۳



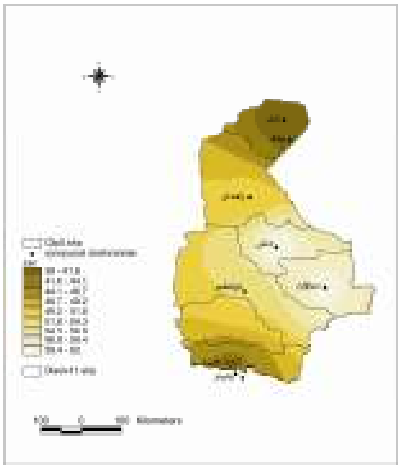
شکل۴- SPI سه ماهه برای ماه ژوئیه سال ۲۰۰۳



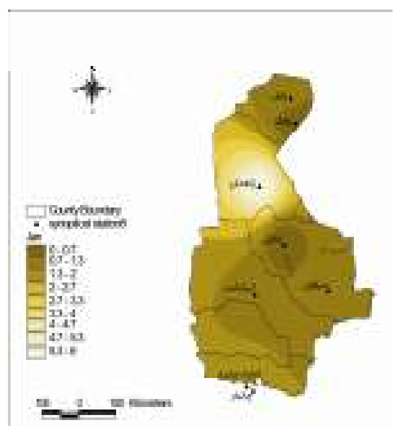
شکل۵- SPI سه ماهه برای ماه دسامبر سال ۲۰۰۳



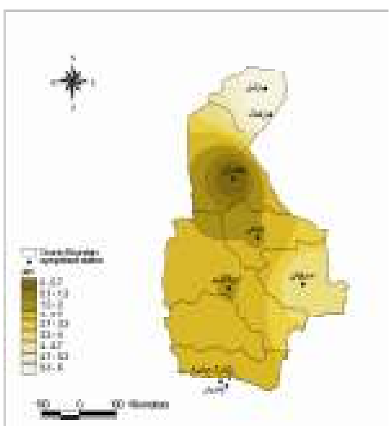
شکل۷- پیش‌بینی وقوع خشکسالی متوسط در ماه ژانویه



شکل۶ -پیش‌بینی وقوع خشکسالی کم در ماه ژانویه



شکل۹- پیش‌بینی وقوع خشکسالی خیلی شدید در ماه ژانویه



شکل۸- پیش‌بینی وقوع خشکسالی شدید در ماه ژانویه

جدول شماره ۴- مقادیر SPI سه ماهه سال ۲۰۰۳ در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ایرانشهر	−۱/۴۹	−۰/۹۵	−۰/۴۸	−۰/۰۷	۰/۱۰	−۰/۱۰	۰/۳۹	۰/۷۵	۰/۸۱	۱/۰۴	۰/۰۶	−۰/۸۲
چابهار	۰/۸۰	−۰/۰۹	−۰/۰۲	−۱/۳۶	−۰/۷۸	۰/۱۳	۰/۷۹	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۳۲	۰/۱۵	−۰/۶۰
خاش	−۰/۳۵	−۰/۹۰	−۱/۰۱	−۰/۹۲	−۰/۵۹	−۰/۶۸	−۰/۳۴	−۰/۱۶	−۰/۱۴	−۰/۱۴	−۰/۵۹	−۰/۹۳
زابل	۰/۲۶	۰/۱۲	−۰/۴	−۰/۹۸	−۱/۶۱	−۰/۵۵	۰/۴۸	۱/۴۷	۱/۴۷	۰/۷۹	۰/۴۹	−۰/۲۹
زاهدان	۰/۲۳	−۰/۸۷	−۰/۷۷	−۰/۶۳	−۱/۱۶	−۱/۳۸	−۰/۱۱	۰/۷۶	۰/۹۵	۰/۴۱	−۰/۵۷	−۱/۵۷
زهک	۰/۲۰	۰/۲۵	−۰/۲۰	−۰/۵۷	−۱/۱۹	−۰/۳۲	۰/۴۳	۱/۳۸	۱/۳۸	۰/۴۳	−۰/۳۵	−۰/۸۷
سراوان	−۰/۱۱	−۰/۵۶	−۰/۵۶	−۰/۶۷	۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۵۵	۱/۱۵	۱/۳۲	−۰/۴۰	۰/۳۳	−۰/۷۸
کنارک‌چابهار	۰/۰۹	−۰/۳۰	−۰/۴۸	−۱/۴۴	−۱/۶۵	۰/۲۵	۱/۴۶	۱/۴۵	۱/۴۶	۰/۸۳	۰/۳۸	−۰/۸۰
گلمکان	۰/۷۹	۰/۴۶	۰/۶۶	۰/۸۶	۱/۳۸	۱/۵۱	۱/۴۵	−۱/۲۶	−۰/۷۶	−۱/۶۲	۰/۵۴	۰/۸۶

جدول شماره ۵- احتمال وقوع خشکسالی کم در سال ۲۰۰۴ بر اساس شاخص SPI سه ماهه (٪)

نام ایستگاه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ایرانشهر	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۸	۴۴	۵۲
چابهار	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۳	۳۵	۳۹	۴۸
خاش	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۸	۵۳	۶۲
زابل	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۵	۲۸	۳۵	۳۹
زاهدان	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	۲۹	۳۰	۳۴	۴۱	۵۰
زهک	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۷	۳۳	۴۱
سراوان	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۸	۴۶	۶۱
کنارک‌چابهار	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۹	۳۹
گلمکان	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۸	۴۴	۵۲

جدول شماره ۶- احتمال وقوع خشکسالی متوسط در سال ۲۰۰۴ بر اساس شاخص SPI سه ماهه (٪)

DEC	NOV	OCT	SEP	AUG	JULY	JUNE	MAY	APR	MAR	FEB	JAN	ایستگاه
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۶	۷	۱۰	ایرانشهر
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۴	چابهار
۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۱۰	۱۲	۱۲	خاش
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۶	۸	۱۱	زابل
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۷	۹	۱۵	۳۸	زاهدان
۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۷	۸	۱۲	زهک
۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۷	۶	۴	سراوان
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۸	۱۱	۱۱	کنارک‌چابهار

جدول شماره ۷- احتمال وقوع خشکسالی شدید در سال ۲۰۰۴ بر اساس شاخص SPI سه ماهه(٪)

DEC	NOV	OCT	SEP	AUG	JULY	JUNE	MAY	APR	MAR	FEB	JAN	ایستگاه
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۲	ایرانشهر
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۴	۳	چابهار
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲	خاش
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۵	۶	زابل
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۹	۰	زاهدان
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۶	۶	زهک
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	سراوان
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	کنارک‌چابهار

جدول شماره ۸- احتمال وقوع خشکسالی خیلی شدید در سال ۲۰۰۴ بر اساس شاخص SPI سه ماهه (٪)

ایستگاه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ایرانشهر	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
چابهار	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خاش	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زابل	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
زاهدان	۶	۳	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
زهک	۰	۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
سراوان	۱	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
کنارک چابهار	۲	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

مشخصات نویسندگان

دکتر امین علیزاده، استاد گروه آبیاری دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حسین انصاری، استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
سارا ارشادی، کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد
شادی آشگر طوسی، کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، مهندسین مشاور طوس آب مشهد